

## ВЛИЯНИЕ НАФИОНА НА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ ИМПЕДАНС МОДИФИЦИРОВАННЫХ ТОЛСТОПЛЕНОЧНЫХ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ЭЛЕКТРОДОВ

Косых А.С.<sup>\*</sup>, Малахова Н.А., Сараева С.Ю., Вохминцев А.С., Вайнштейн И.А.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,  
г. Екатеринбург, Россия

\*E-mail: [a.s.kosykh@mail.ru](mailto:a.s.kosykh@mail.ru)

## THE INFLUENCE OF NAFION ON ELECTROCHEMICAL IMPEDANCE OF MODIFIED CARBON SCREEN-PRINTED ELECTRODES

Kosykh A.S.<sup>\*</sup>, Malakhova N.A., Saraeva S.Iu., Vokhmintsev A.S., Weinstein I.A.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Carbon containing screen-printed electrodes based on carbon nanotubes with and without nafion were studied by electrochemical impedance spectroscopy. It was found that the addition of nafion increases the charge transfer resistance and decreases the capacitance of electrodes. This fact is confirmed by the data obtained using cyclic voltammetry.

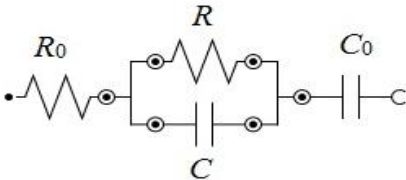
В настоящее время для определения тяжелых металлов, биологически активных соединений и фармацевтических препаратов применяют толсто пленочные углеродсодержащие электроды (ТУЭ), где в качестве модификатора используют углеродные нанотрубки (УНТ) [1-3]. Для его закрепления на поверхности электрода и защиты от влияния матрицы органических соединений используют нафийон, который образует электропроводную пленку. В этом случае важную роль приобретают сведения о влиянии нафийона в составе модифицирующего слоя на морфологические и электрохимические характеристики электродов. Таким образом, цель работы заключалась в исследовании ТУЭ, изготовленных без и с использованием нафийона и УНТ, методом импедансной спектроскопии.

Исследованы четыре типа электродов: исходный ТУЭ и модифицированные: 0.2 % нафийона (ТУЭ/Н); спиртовая суспензия многостенных УНТ ( $d_{cp} \approx 147$  нм, Sigma-Aldrich) с концентрацией 0.5 мг/мл (ТУЭ/УНТ); аналогичный раствор с добавлением 0.2 % нафийона (ТУЭ/УНТ-Н). Частотные спектры импеданса получены на потенциостате-гальваностате  $\mu$ Autolab (Metrohm, Швейцария) с использованием трехэлектродной ячейки в растворе, содержащем 0.1 моль/л  $KNO_3$  и  $5 \cdot 10^{-3}$  моль/л  $[Fe(CN)_6]^{3-/4-}$ . Измерения проведены в диапазоне частот  $10^2$ – $10^6$  Гц при потенциале 0.3 В, выбранном на основании анализа циклических вольтамперограмм.

На основе оптимальной эквивалентной схемы, см. Таблицу, спектры импеданса аппроксимированы с точностью  $\chi^2 < 0.6$ . Выбранная схема состоит из следующих элементов:  $R_0$  – сопротивление электролита;  $C_0$  – емкость межфазной границы электрод-электролит;  $R$  – сопротивление переноса заряда;  $C$  – ем-

кость двойного электрического слоя. Рассчитанные значения параметров для исследуемых электродов представлены в Таблице.

Электрические характеристики исследуемых электродов

Эквивалентная схема	Тип электро- да	$R_0$ , $\pm 20\text{М}$	$R$ , $\pm 20\text{М}$	$C$ , $\pm 1\text{ нФ}$	$C_0$ , $\mu\text{Ф}$
	ТУЭ	27	190	36	$0.3 \pm 0.05$
	ТУЭ/УНТ	27	157	49	$330 \pm 2$
	ТУЭ/Н	45	312	4	$0.2 \pm 0.05$
	ТУЭ/УНТ-Н	45	233	5	$275 \pm 2$

Видно, что добавление нафiona приводит к увеличению сопротивлений  $R_0$  в 1.7 раза,  $R$  в 1.5 и 1.6 раза и уменьшению емкостей  $C$  в 9 и 10 раз,  $C_0$  в 1.2 и 1.5 раз для электродов без и с УНТ, соответственно. В то же время введение УНТ в модификатор приводит к росту емкости межфазной границы более чем в 1000 раз, что указывает на увеличение электроактивной площади поверхности электродов и удовлетворительно согласуется с нашими исследованиями методом циклической вольтамперометрии.

По полученным результатам сделан вывод, что введение нафiona в состав модификатора приводит к ухудшению характеристик электрохимического импеданса исследуемых электродов. Обсуждается влияние электростатического отталкивания между отрицательно заряженными группами  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$  в растворе и  $\text{SO}^{3-}$  в пленке нафiona на процессы переноса электронов.

1. Косых А.С., Малахова Н.А. и др. Журнал прикладной химии 88 (4), 652 (2015).
2. Carvalho R.C., Mandil A. et al. Electroanalysis 25 (4), 903 (2013).
3. Mardegan A., Pifferi V. et al. Electrochemistry Communications 48, 13 (2014).